

THE STATUS OF LONG LIFE CARBON STRIPPER FOILS FOR THE RIKEN RIBF

Hiroo Hasebe^{1,A)}, Hiroki Okuno^{A)}, Hironori Kuboki^{A)}, Hiromichi Ryuto^{B)}, Nobuhisa Fukunishi^{A)},
Osamu Kamigaito^{A)}, Akira Goto^{A)}, Masayuki Kase^{A)}, Yasushige Yano^{A)}

^{A)} Nishina Center for Accelerator-Based Science, RIKEN

2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

^{B)} Photonics and Electronics Science and Engineering Center, Kyoto University

Nishikyo, Kyoto 615-8510

Abstract

Carbon foils (C-foil) are extensively used as charge strippers for heavy-ion beams at the RIKEN RI beam factory (RIBF). The polymer coating C-foil (PCC-foil) was irradiated by $^{238}\text{U}^{35+}$ beam and we measured its lifetime. Using the atomic force microscope (AFM) we observed that the surface property of multi-layer PCC-foil was changed after the irradiation of $^{238}\text{U}^{35+}$ beam. To further increase the lifetime of C-foil, "rotating cylinder stripper" device was used and we measured the lifetime of the C-foil. In this contribution, we will report the results of lifetime measurements and AFM experiment in detail.

理研RIBFにおける長寿命炭素薄膜の開発状況

1. はじめに

理研では1999年12月より長寿命炭素薄膜^[1]の開発を行ってきた。開発してきた膜厚は $10\text{--}80\ \mu\text{g}/\text{cm}^2$ と薄い物であった。それは既存の施設で使用するには十分な厚さであり高評価を得ていた。

理研RIBFで使用する計画であった炭素薄膜 (C-foil) は、膜厚が厚く大面積に貼り付けられる事が必要であった。その為2005年8月よりポリマーコーティング炭素薄膜 (PCC-foil) ^[2]の開発を始めた。PCC-foilは内径100mmの回転円筒ストリッパ装置^[3]にサポート無しで貼り付け2006年9月に500rpmの回転に耐える事を確認した。

理研RIBFは2006年より稼働し、より重い、より高いエネルギーのイオンビームが各種加速された。それに伴い後段に設置された荷電変換装置が使用され、多層のPCC-foilの寿命が計測された。多層PCC-foilを貼り付けた回転円筒ストリッパ装置に初めてウランビームが供給された。

2. C-foilの寿命

2.1 UビームにおけるC-foilの寿命

ポリモノクロロパラキシリレン (パリレン) とカーボンそれぞれ5層、厚みが $300\ \mu\text{g}/\text{cm}^2$ の多層PCC-foilは2008年4月、 $^{238}\text{U}^{35+}$ 、 $E=11\text{Mev}/n$ 、ビーム電流約500enA、ビームサイズ約 $\Phi 5\text{mm}$ 、回転しない固定膜 (ホルダー開口部形状オーバル、サイズ23mm×14mm) にて寿命が計測された。結果は最大ビーム量にする途中で破れてしまう短い物から最大15時間以

上保つ物まで広範囲にばらつきが発生した。図1は瞬間的に破れたPCC-foil (a) と15時間以上経っても使える状態のPCC-foil (b) を荷電変換装置から取り出して撮影した写真である。数字は31枚のC-foilが装填可能なフォイルチェンジャーの枠番号を示している。寿命の判定は監視カメラ等で破れが確認できた場合や荷電変換して取り出せたビーム電流の効率が測定開始時より75%以下となった時間とした。PCC-foilはビームによる熱で急に変形しやすい。状態良くパリレンが蒸発し伸びが綺麗に生じると寿命が長くなるようだった。そこでパリレンの層を最終1層省き4層としガラス基板から剥がす前に250°Cのオープンに数時間入れパリレンの高分子特性を失わせ熱変形の発生を少なく抑えるように改質し使用してみた。このPCC-foilは使用初期の破れは発生しなくなり寿命の測定はされていないが2008年7月のマ

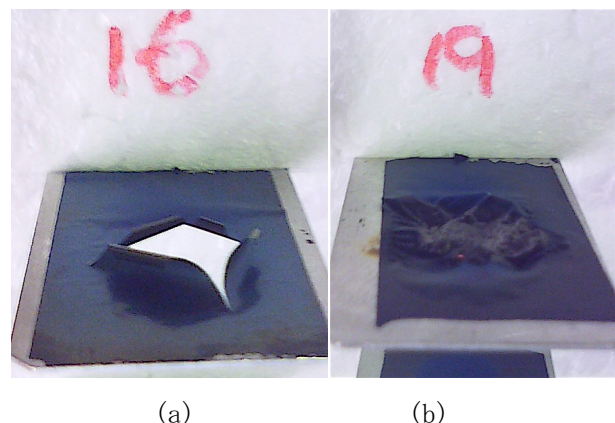


図1: (a) 短時間で破れたPCC-foilと (b) 15時間以上使用しまだ使用可能なPCC-foil

¹ E-mail: hasebe@riken.jp

シンスタディでは約6-24時間の使用実績となった。ビームの条件は前回4月と同じである。またArizona社製のC-foil^[5] (XCF-300)も同程度の寿命となった。

2.2 KrビームにおけるC-foilの寿命

カーボン1層のみで厚みが $40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ のfoilの寿命は2008年5月、 $^{86}\text{Kr}^{18+}$ 、 $E=2.3\text{Mev}/n$ 、ビーム電流 $20\text{-}25\text{e}\mu\text{A}$ 、ビームサイズ約 $2\times 5\text{mm}$ 、回転しない固定膜(膜サイズ、 $\Phi 14\text{mm}$)にて計測された。寿命は3時間54分(約4時間)であった。Arizona社製のC-foil (ACF-40)は約10分であった。寿命の判定は監視カメラ等で破れが確認できた場合や荷電変換して取り出せたビーム電流の効率が開始時より50%以下となった時間とした。

2.3 CaビームにおけるC-foilの寿命

Krビームの寿命テストで使用した時と同じ材質、同じ製法、同じ厚みのC-foilを用いた寿命は2008年6月、 $^{48}\text{Ca}^{10+}$ 、 $E=2.7\text{Mev}/n$ 、ビーム電流 $15\text{-}19\text{e}\mu\text{A}$ 、ビームサイズ $\Phi 3\text{-}4\text{mm}$ 、回転しない固定膜(膜サイズ、 $\Phi 14\text{mm}$)にて計測された。20時間40分照射したが破れずC-foilの劣化も観察されなかった。

2.4 XeビームにおけるC-foilの寿命

KrおよびCaの寿命テストで使用した時と同じ材質、同じ製法、同じ厚みのC-foilの寿命は2008年7月、 $^{136}\text{Xe}^{20+}$ $E=1.86\text{Mev}/n$ 、ビーム電流約 $2\text{e}\mu\text{A}$ (1/10のビーム減衰器使用)、ビームサイズ $\Phi 2\text{-}3\text{mm}$ 、回転しない固定膜(膜サイズ、 $\Phi 10.14.16\text{mm}$)にて計測された。寿命は4時間9分であった。パリレンが1層コーティングされたPCC-foilは45分となった。Arizona社製のC-foil (ACF-40)は1時間14分であった。寿命の判定基準はKrの測定時と同様である。ホルダーの穴径による寿命との相関は判明しなかった。20 $\text{e}\mu\text{A}$ のビームが照射されている時の膜の温度を放射温度計で測定したところ 950°C であった。膜からの放射率は0.9とした。

3. PCC-foilの表面の変化

3.1 AFM (原子間力顕微鏡)

2007年7月に薄いC-foilを薄膜の状態でもクロに表面を観察できるAFM^[4](図2)を導入した。撮影の対象が放射化物となり放射線管理区域より持ち出せない等考えられポータブルな持ち運びしやすい物を選択した。

3.2 PCC-foilの表面

実際に使用した多層PCC-foil ($300 \mu\text{g}/\text{cm}^2$)の $^{238}\text{U}^{35+}$ ビームが照射されていない部分の表面の様子をAFMで観察した画像が図3である。エリアサイズは $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ である。単層、多層にかかわらず基板が平滑なものであれば基板側のPCC-foil表面は (a)のよう



図2: AFM (easyScan 2 by Nanosurf AG) 右からスキャンヘッド、コントローラー、PCモニター

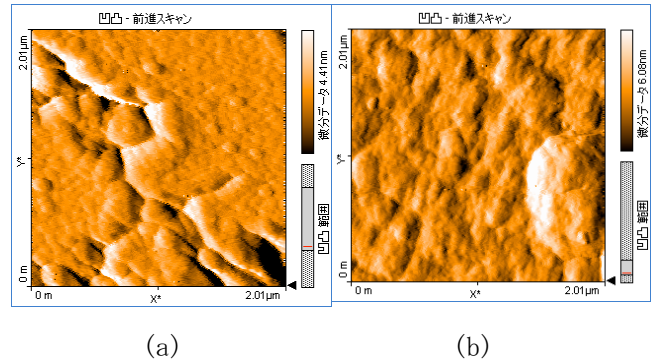


図3: ビームが照射されていない部分のPCC-foilのAFM画像 (a) ガラス基板側 (b) 蒸発源側

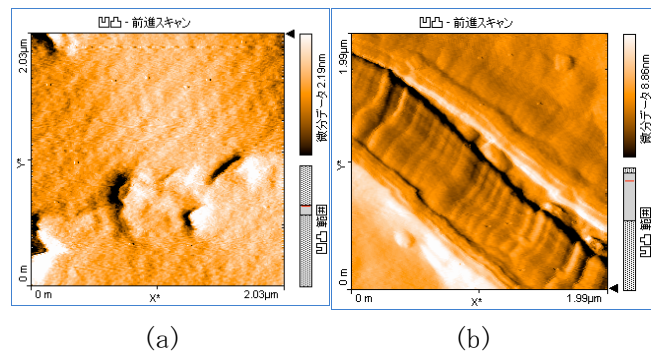


図4: ビームが照射された部分のPCC-foilのAFM画像 (a) ガラス基板側 (b) 蒸発源側

に凹凸は少なく平らな面が観察される。蒸着され積層されたカーボンの粒子(直径 $200\text{-}300\text{nm}$)は潰れたようになっている。一方蒸発源側 (b)は凹凸が大きく見られカーボン粒子もハッキリと判別できる。

3.3 $^{238}\text{U}^{35+}$ ビーム照射後のPCC-foilの表面

U ビーム照射後のPCC-foilの表面は激変する。図4は $^{238}\text{U}^{35+}$ ビームが照射された部分の基板側 (a)と蒸発源側 (b)のエリアサイズは $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ のAFMの画像で

ある。基板側ではカーボンの粒子は観察されなくなり溶けて伸びたようになる。蒸発源側もカーボンの粒子はほとんど観察されなくなり大きな裂け目が見られるようになる。基板側より変化が激しい。

4. 回転円筒ストリッパー

2007年11月、オフラインでテストをしていた回転円筒ストリッパー装置をビームラインに設置した。開口径100mmの大ホルダーに貼り付けたパリレンとカーボンそれぞれ5層、厚みが $300 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ の多層PCC-foilは、2008年4-5月のマシンスタディで、 $^{238}\text{U}^{35+}$ 、 $E=11\text{Mev}/n$ 、ビーム電流約500enA、膜回転数100-300rpmにてビームが照射され荷電変換装置として機能することを確認し寿命が測られた。結果、2枚のPCC-foilに照射してみたが、どちらも10分、25分と短い時間で破れてしまった。1枚目はパリレンの高分子膜としての機能を失わせないままで貼り付けた物、2枚目は基板から剥がした後に 300°C 、2.5時間オープンに入れてアニーリングと同時にパリレンの焼きだしを行った物である。2枚目の破れた膜が図5の写真である。一部のみ残りほとんど全周に穴が空いて破れた。真空から大気圧にして取り出すと内側がすべて剥がれ落ち大きな穴があいてしまった(図6)。ビーム形状を診断する機器が回転膜のそばに無かったのでビームサイズは確定できないが穴のあいた間隔から約5ミリであると推測する。また、同じ厚みのTRIUMF製のダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜を貼り付け同様に照射すると約9時間後に同じように破れた。すべての膜が一方向にまくれ上がる状態で破れた。固定膜に比べ数十倍の寿命を見込んでいたが固定膜と同等かさらに悪い結果となった。回転スピードが遅く膜の照射される部分の温度変化が激しく起こり早々に破れたのかもしれない。

5. まとめ

薄く1層のみのPCC-foilはコーティングすることによって薄膜の寿命に大きな影響を与えないと現在まで判断していたが今回Xeのビームテストでは悪影響を与える結果だった。この結果に対して原因はまだ考察中である。また、多層PCC-foilは寿命にばらつきを与えてしまうようだ。多層にして膜厚を厚くする方法としてパリレンコーティングは必要不可欠だがビームを照射する前に高分子の特性を無くしたほうが寿命のばらつきは大幅に減る。AFMの観察により厚さ $300 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ のPCC-foilは基板側より蒸発源側がビームによりダメージを大きく受ける事が判明した。したがって表面の凸凹が寿命に影響を与えていると考察する。表面に凹凸が少なくなる蒸着方法を開発していきたい。回転円筒ストリッパーは良き結果は得られていない。寿命が予想以上に短かった事は、原因を究明中である。熱による変形を小さくし、質のよい膜を作り上げ、適度な回転数をサーチすることが今後の課題である。

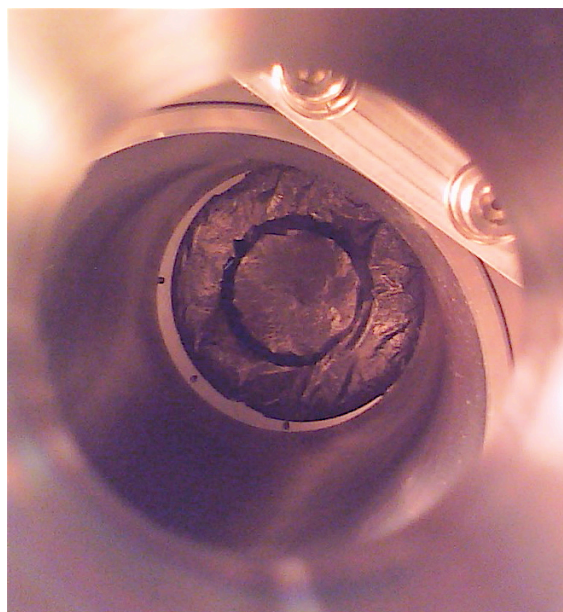


図5：回転円筒ストリッパー装置に装着されビームによって破れたPCC-foil

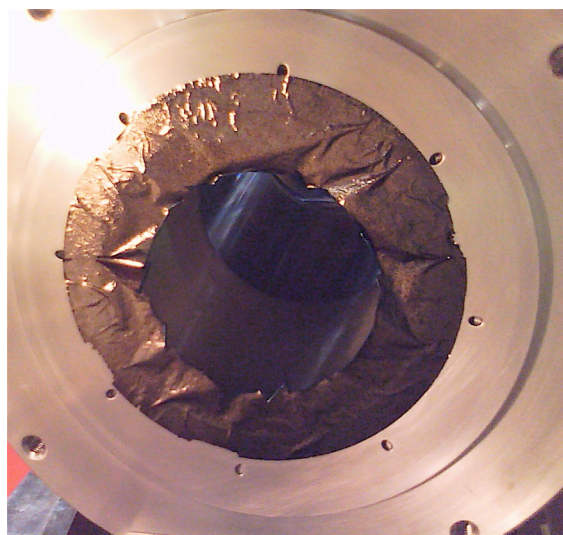


図6：回転円筒ストリッパー装置から外され内側が抜け落ちたPCC-foil

参考文献

- [1] H. Hasebe, M. Kase, H. Ryuto, Y. Yano, in: Proceedings of 17th International Conference on Cyclotrons and their Applications (Cyclotrons 2004), Tokyo, Japan, October 2004, p. 313.
- [2] H. Hasebe, H. Ryuto, N. Fukunishi, A. Goto, M. Kase, Y. Yano, Nucl. Instr. and Meth. A 590 (2008) 13-17.
- [3] H. Ryuto, H. Hasebe, N. Fukunishi, S. Yokouchi, A. Goto, M. Kase, Y. Yano, Nucl. Instr. and Meth. A 569 (2006) 697.
- [4] Nanosurf AG, URL: <<http://www.nanosurf.com/>>
- [5] ACF-Metals Arizona Carbon Foil Co. Inc., URL: <<http://www.techexpo.com/firms/acf-metl.html>>.